

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-311237

(43) 公開日 平成9年(1997)12月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 6/13

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 6/12

技術表示箇所

M

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平9-7533

(22) 出願日 平成9年(1997)1月20日

(31) 優先権主張番号 特願平8-88920

(32) 優先日 平8(1996)3月18日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(71) 出願人 596016476

三浦 清貴

奈良県奈良市朱雀1-13-22

(72) 発明者 三浦 清貴

奈良県奈良市朱雀1-13-22

(72) 発明者 ケネス デイビス

奈良県奈良市左京4-2-12

(72) 発明者 平尾 一之

京都府相楽郡木津町木津川台3-5-8

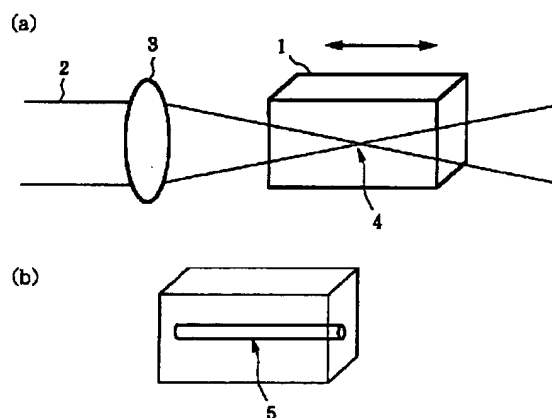
(74) 代理人 弁理士 小倉 亘

(54) 【発明の名称】 光導波路及びその作製方法

(57) 【要約】

【目的】 ピーク出力値が高いレーザを照射することにより、ガラス材料の内部に光導波路を形成する。

【構成】 ピークパワー強度  $10^5 \text{ W/cm}^2$  以上、繰返し周波数  $10 \text{ KHz}$  以上のパルスレーザ光2をガラス試料1に連続的に集光照射する。レーザ照射に際しては、パルスレーザ光2の光軸方向に沿って試料1を連続的に移動させ、或いは試料1に対してパルスレーザ光2の集光点4を連続的に走査させることが好ましい。試料1には透明度の高い種々のガラス等が使用され、集光点4が光誘起屈折率変化を起こし、集光点4の軌跡が光導波路5として試料1の内部に書き込まれる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光の集光照射により屈折率が変化した部分がガラス材料の内部に連続して形成されている光導波路。

【請求項2】 ガラス材料が酸化物ガラス、ハロゲン化物ガラス、硫化物ガラス又はカルコゲナイドガラスである請求項1記載の光導波路。

【請求項3】 光誘起屈折率変化を起こすエネルギー量をもつレーザ光をガラス材料の内部に集光し、ガラス材料の内部で集光点を相対移動させ、連続した屈折率変化領域をガラス材料の内部に形成する光導波路の作製方法。

【請求項4】 集光点におけるピークパワー強度が $10^5 \text{ W/cm}^2$ 以上のレーザ光を使用する請求項3記載の光導波路の作製方法。

【請求項5】 繰返し周波数10KHz以上のパルスレーザ光を使用する請求項3又は4記載の光導波路の作製方法。

【請求項6】 ガラス材料として酸化物ガラス、ハロゲン化物ガラス、硫化物ガラス又はカルコゲナイドガラスを使用する請求項3～5の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項7】 レーザ光の集光点に対しガラス材料を連続的に移動させる請求項3～6の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項8】 ガラス材料の内部でレーザ光の集光点を連続的に移動させる請求項3～6の何れかに記載の光導波路の作製方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、レーザ照射によってガラス材料の内部に屈折率変化領域が連続して形成された光導波路及びその作製方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】光通信等において使用される光導波路は、イオン交換法、火炎加水分解法等でガラス等のガラス材料の内部に形成されている。イオン交換法では、金属膜のスリット状開口からガラス基板表面層に $\text{Ag}^+$ イオンを熱的に侵入させ、ガラス中の $\text{Na}^+$ イオンと $\text{Ag}^+$ イオンを交換する第1段のイオン交換により表面層に導波路を形成した後、ガラス基板に均一な電界を印加し溶融塩中の $\text{Na}^+$ イオンをガラス表面に侵入させる。 $\text{Na}^+$ イオンは、 $\text{Ag}^+$ イオンが形成した最表面の高屈折率領域を表面下に移動させる。その結果、導波路がガラス表面下に埋め込まれ、低伝播損失特性が確保される。この方法で作成された光導波路のコアは、径 $10 \sim 200 \mu\text{m}$ の半円形又はほぼ円形の断面をもち、1%前後の屈折率差をもつものが多い。

【0003】火炎加水分解法では、四塩化シリコンと四塩化ゲルマニウムの火炎加水分解によりシリコン基板の

表面に下クラッド用及びコア用の二層のガラス微粒子層を堆積させ、高温加熱により微粒子層を透明ガラス層に改質する。次いで、フォトリソグラフィ及び反応性エッチングにより回路パターンをもつコア部を形成する。この方法で作成された光導波路は、膜厚が数 $\mu\text{m}$ と薄い。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】イオン交換法では、屈折率分布をイオン交換により調整しているため、形成された導波路構造がガラス表面に近い部分に限られる。導波路が作成可能なガラスも、イオン交換が可能な材料に限られる。また、イオン交換に長時間を要することから、生産性も低い。他方、火炎加水分解法は、導波路の作成工程が複雑であり、使用可能な材料も石英を主成分とするガラス組成に限られる。更には、基板表面に堆積した微粒子をガラス層に改質するため、円形の断面をもつ光導波路の作成が困難である。

【0005】更に、イオン交換法又は火炎加水分解法では、同一基板上に種々の二次元的パターンをもつ光導波路を形成できるものの、三次元的に組み合わせられた光導波路を形成することは困難である。そのため、光導波回路等として使用されるときに制約を受け、複雑な回路構成をもつ用途に適用できない。本発明は、このような問題を解消すべく案出されたものであり、ガラス材料の内部に集光させたレーザ光の集光点を相対的に移動させることにより、屈折率変化をもたらす構造変化をガラス材料の内部に起こさせ、光導波路を形成することを目的とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の光導波路は、その目的を達成するため、レーザ光の集光照射により屈折率が変化した部分がガラス材料の内部に連続して形成されていることを特徴とする。ガラス材料には、ハロゲン化物ガラス、硫化物ガラス、カルコゲナイドガラス等が使用される。酸化物ガラスにはケイ酸塩系、硼酸塩系、磷酸塩系、弗磷酸塩系、ビスマス系等があり、ハロゲン化物ガラスには $\text{BeF}_2$ 系、 $\text{ZrF}_4$ 系、 $\text{InF}_3$ 系、 $\text{Cd-Zn-Cl}$ 系等があり、硫化物ガラスには $\text{Ga-La-S}$ 系等があり、カルコゲナイドガラスには $\text{Se-As}$ 系等がある。

【0007】この光導波路は、光誘起屈折率変化を起こすエネルギー量をもつレーザ光をガラス材料の内部に集光し、ガラス材料の内部で集光点を相対移動させ、連続した屈折率変化領域をガラス材料の内部に形成することにより製造される。レーザ光としては、ガラスの種類によっても異なるが、光誘起屈折率変化を起こすためには、集光点における $10^5 \text{ W/cm}^2$ 以上のピークパワー強度をもつことが好ましい。ピークパワー強度は、1パルス当りの出力エネルギー(J)/パルス幅(秒)の比で表されるピーク出力(W)を照射単位面積当りで表した値である。ピークパワー強度が $10^5 \text{ W/cm}^2$ に

満たないと有効な光誘起屈折率変化が起こらず、光導波路が形成されない。ピークパワー強度が高いほど光誘起屈折率変化が促進され、光導波路が容易に形成される。しかし、過度に大きなエネルギー量のレーザ光を実用的に得ることは困難である。そこで、パルス幅を狭くすることによりピーク出力を高くしたパルスレーザの使用が好ましい。ガラス材料の内部に形成される導波路を滑らかな構造にするためには、パルスレーザの繰返し周波数を10KHz以上に設定する。

【0008】レーザ光は、レンズ等の集光装置により集光される。このとき、ガラス材料の内部に位置するように集光点を調節する。この集光点をガラス材料の内部で相対移動させることにより、光導波路として働く連続した屈折率変化領域がガラス材料の内部に形成される。具体的には、レーザ光の集光点に対しガラス材料を連続的に移動させ、或いはガラス材料の内部でレーザ光の集光点を連続的に移動させることにより、集光点を相対移動させる。

【0009】

【作用】パルスレーザの照射によって屈折率が変化する現象は、光誘起屈折率変化と呼ばれており、P、Ce、Ge等を添加したシリカガラスの例が知られている。この現象は、紫外域に固有吸収をもつ酸素欠陥がガラス中に存在しており、吸収波長のレーザ光を照射することによって酸素欠陥の一部が構造変化すること起因すると考えられており、発振波長が紫外域にあるエキシマレーザでの研究が進められている。しかし、この方法で使用するレーザ光は、10KHz未満の低い繰返し周波数をもち、照射部分に十分なエネルギーを与えることができない。そのため、屈折率変化領域の形状がスポット的になり、連続的な屈折率変化を必要とする光導波路を形成するまでには至らない。また、平均出力が一定の状態で、強制的に繰返し周波数を大きくした場合、パルス当りのエネルギーが低くなり、屈折率変化を誘起させること自体が困難になる。

【0010】これに対し、パルス幅を狭くすることで高いピーク出力が得られると、10KHz以上の繰返し周波数をもつパルスレーザにおいても、ガラス組成に関係なく、レーザ光の集光点で屈折率が変化する現象を確認した。この条件下では、ガラスの固有吸収波長以外の波長をもつパルスレーザであっても、同様に集光点においてガラスの光誘起屈折率を変化させる現象が発生する。また、ガラスの固有吸収波長に一致する波長をもつパルスレーザであっても、吸収が弱く、集光点における $10^5 \text{ W/cm}^2$ 以上のピークパワー強度が確保されると光誘起屈折率変化が生じる。屈折率が変化する現象は、発生メカニズムが不明であるが、光導波路の作製に有効に利用される。また、繰返し周期が速いことから、ガラス材料を連続的に走査することにより、集光部分の軌跡に連続的な屈折率変化領域を形成できる。この屈折率変化

領域は、当初のガラスの屈折率より高いことから光導波路として利用される。

【0011】滑らかな導波路構造を形成させる上では、パルス間隔を狭く、換言すれば繰返し周期を速くし、第1パルスと第2パルスが可能な限り同時に照射される必要がある。このことから、本発明ではパルスレーザの繰返し周波数を10KHz、好ましくは100KHz以上に設定する。繰返し周波数が小さいとレーザ光が離散的に照射され、導波路の形成に必要な連続的な屈折率変化が得られない。なお、ガラス材料又はレーザ光の集光点の走査速度を遅くすることにより、ガラス材料に対して連続的にレーザ光を照射できる。しかし、この場合は第1パルス照射後に一定の時間をおいて第2パルスが重なった状態で照射されるため、第1パルスで形成された屈折率変化が第2パルスにより再変化を起こし、十分な屈折率変化が得られない。上限は、繰返し周波数が無限大の限りなく連続レーザに近いものである。しかし、繰返し周波数を大きくすると、一般に1パルス当りのエネルギーが弱くなる。そのため、実際にはガラス材料が屈折率変化を起こす閾値と、使用するレーザの出力によって繰返し周波数の上限が設定される。

【0012】

【実施例】

実施例1:

$\text{SiO}_2$ : 95重量%,  $\text{GeO}_2$ : 5重量%の組成をもつ石英ガラスから、 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 5\text{mm}$ の立方体形状の試料1を切り出した。この試料に、図1(a)に示すようにパルスレーザ光2をレンズ3で集光して照射した。パルスレーザ光2としては、アルゴンレーザ励起の $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$ レーザから発振されたパルス幅150フェムト秒、繰返し周波数200KHz、波長800nm、平均出力600mWのレーザを使用した。パルスレーザ光2をレンズ3で集光し、試料1の内部に集光点4が生じるように照射させると、集光点4の屈折率が0.02上昇した。屈折率の変化は、ナノ秒又はピコ秒オーダーの極短時間で生じた。そこで、ガラス又は集光部分を連続的に移動し、図1(b)に示すように試料1の内部に直線状の屈折率が高い領域、すなわち光導波路5を形成した。

【0013】光導波路が形成されていることは、実際に可視光を試料に入射し、屈折率変化を起こしている部分のみに光が伝達されていることで確認した。また、出射側の近視野像から光導波路の断面が直径 $20\mu\text{m}$ の円形であることが判った。実施例1においてはGeドープしたシリカガラスを使用した例を説明したが、高純度のシリカガラス、リン酸塩ガラス、ホウ酸塩ガラス、フッ化物ガラス、塩化物ガラス、硫化物ガラス等の他のガラスにおいても同様にレーザ照射によって光導波路が形成された。得られた光導波路は、コアとクラッドとの間に明確な界面が存在しないことから界面損失が極めて少な

く、光集積回路等における微細な導波路形成法としての活用が期待される。

【0014】実施例2:

ZrF<sub>4</sub>:50モル%, LaF<sub>3</sub>:5モル%, AlF<sub>3</sub>:5モル%, BaF<sub>2</sub>:20モル%, NaF:20モル%の組成をもち、20mm×20mm×5mmの立方体形状をもつフッ化物ガラスを試料1として使用した。試料1の内部に焦点4を結ぶ(図2a)ように、パルス幅120フェムト秒、繰返し周波数50KHz、波長1μm、平均出力150mWのパルスレーザ光2を集光照射した。集光点4を円弧状に移動させたところ、図2(b)に示すように周囲とは明確に異なるラインが集光点4の軌跡に沿って試料1の内部に形成されていることが光学顕微鏡による観察で確認された。形成されたライン、すなわち光導波路5は、直径12μmの円形断面をもっていた。

【0015】光導波路5の一端面からHe-Neレーザ光を入射したところ、光導波路5の他端面からレーザ光が出射されることを近視野像の光強度分布で確認し、レーザ照射によって形成されたラインが周囲に比較して屈折率が高く、光導波構造になっていることが判った。また、光導波路5に繰返しレーザ光を集光照射すると、光導波路5の端面から出射される光強度も増加し、レーザ照射の繰返しにより屈折率変化も増大することが確認された。また、パルス幅及び繰返し周波数を一定に保ち、

レーザ光の波長を400nmから2μmまで変化させながらフッ化物ガラスに照射し、光導波路を形成した。この場合も、光出射端面の近視野像の光強度分布から、同様な光導波路がガラス内部に形成されていることが判った。

【0016】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明においては、ピーク出力値が高いパルスレーザをガラス等のガラス材料に照射し、集光点の屈折率を変化させることにより、ガラス材料の内部に光導波路を書き込んでいる。この方法は、複雑な工程を経ることなく、しかも簡単に光導波路を形成できる利点をもっている。また、パルスレーザの光軸方向に対するガラス材料の走査方向、或いはガラス材料に対する集光点の移動方向を変えることで光導波路の形状も任意に制御でき、複雑な回路構造をもつ光集積回路等に適した三次元的な光導波路も容易に作製される。

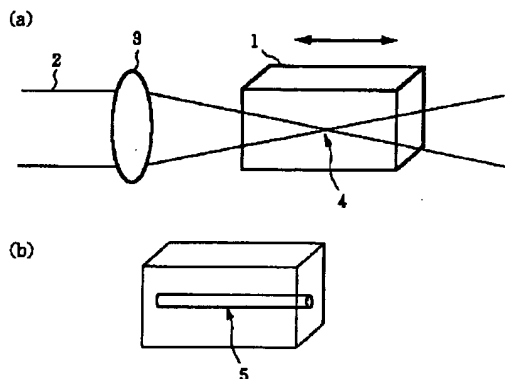
【図面の簡単な説明】

【図1】 石英ガラスにパルスレーザ光を照射し  
(a)、ガラス内部に作成した光導波路(b)

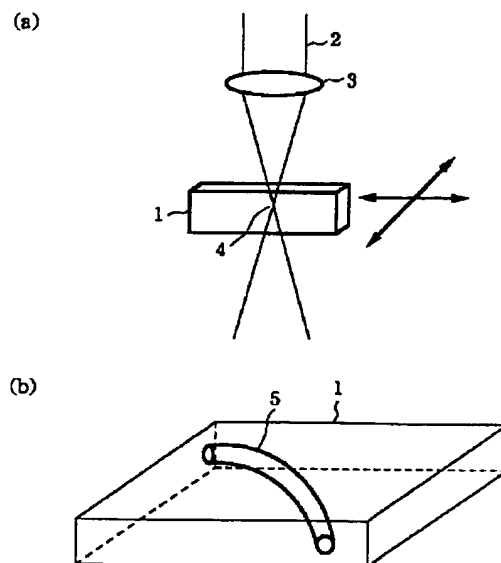
【図2】 フッ化物ガラスにパルスレーザ光を照射し  
(a)、ガラス内部に作成した光導波路(b)

1: ガラス試料 2: パルスレーザ光 3: 集光レンズ 4: 集光点  
5: 光導波路

【図1】



【図2】



## 【手続補正書】

【提出日】平成9年1月23日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正内容】

【0011】滑らかな導波路構造を形成させる上では、パルス間隔を狭く、換言すれば繰返し周期を速くし、第1パルスと第2パルスが可能な限り同時に照射される必要がある。このことから、本発明ではパルスレーザの繰返し周波数を10KHz、好ましくは100KHz以上に設定する。繰返し周波数が小さいとレーザ光が離散的に照射され、導波路の形成に必要な連続的な屈折率変化が得られない。なお、ガラス材料又はレーザ光の集光点の走査速度を遅くすることにより、ガラス材料に対して連続的にレーザ光を照射できる。しかし、この場合は第

1パルス照射後に一定の時間をおいて第2パルスが重なった状態で照射されるため、第1パルスで形成された屈折率変化が第2パルスにより再変化を起し、十分な屈折率変化が得られない。上限は、繰返し周波数が無限大の限りなく連続レーザに近いものである。しかし、繰返し周波数を大きくすると、一般に1パルス当りのエネルギーが弱くなる。そのため、実際にはガラス材料が屈折率変化を起こす閾値と、使用するレーザの出力によって繰返し周波数の上限が設定される。光導波路のコア径は、照射するパルスレーザのパワーや集光スポット径を変えることにより制御可能である。パルスレーザのパワー又は集光スポット径が大きくなるほど、コア径も大きくなる。また、パルスレーザの走査回数によってコア部分の屈折率の変化量を制御することでき、走査回数を多くするほど、コア径一定のままで屈折率の変化量を大きくすることができる。

**\* NOTICES \***

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]**

[0001]

[Industrial Application] this invention relates to the optical waveguide by which the refractive-index change field was continued and formed in the interior of glass material of laser radiation, and its production method.

[0002]

[Description of the Prior Art] The optical waveguide used in optical communication etc. is formed in the interior of glass material, such as glass, by the ion-exchange method, flame hydrolysis, etc. With an ion-exchange method, it is  $\text{Ag}^+$  to the glass-substrate surface layer from slit-like opening of a metal membrane. Ion is made to invade thermally and it is  $\text{Na}^+$  in glass. Ion and  $\text{Ag}^+$  After forming a waveguide in a surface layer according to the ion exchange of the 1st step which exchanges ion, uniform electric field are impressed to a glass substrate, and it is  $\text{Na}^+$  in fused salt. Ion is made to trespass upon a glass front face.  $\text{Na}^+$  Ion is  $\text{Ag}^+$ . The high refraction field on the front face of the maximum which ion formed is moved to the bottom of a front face. Consequently, a waveguide is embedded in the bottom of a glass front face, and a low propagation loss property is secured. the core of the optical waveguide created by this method -- the semicircle of 10-200 micrometers of diameters, or an almost circular cross section -- having -- the ratio around 1% -- there are many things with a refractive-index difference

[0003] In flame hydrolysis, the object for lower clad and the glass particle layer of the bilayer for cores are made to deposit on the front face of a silicon substrate by flame hydrolysis of a silicon tetrachloride and a germanium tetrachloride, and a particle layer is reformed in a transparent glass layer by heating at high temperature. Subsequently, the core section which has a circuit pattern by the photolithography and reactant etching is formed. The optical waveguide created by this method has thickness as thin as several micrometers.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the ion-exchange method, since the ion exchange is adjusting the refractive-index distribution, the formed waveguide structure is restricted to the portion near a glass front face. The glass which can create a waveguide is also restricted to the material in which the ion exchange is possible. Moreover, productivity since the ion exchange takes a long time is also a low. On the other hand, the creation process of flame hydrolysis of a waveguide is complicated, and it is restricted to the glass composition to which an usable material also makes a quartz a principal component. Furthermore, in order to reform the particle deposited on the substrate front face in a glass layer, creation of an optical waveguide with a circular cross section is difficult. [0005] Furthermore, in an ion-exchange method or flame hydrolysis, although the optical waveguide which has various two-dimension-patterns on the same substrate can be formed, it is difficult to form the optical waveguide together put in three dimensions. Therefore, when used as an optical waveguide circuit etc., restrictions are received, and it cannot apply to a use with complicated circuitry. By being thought out that such a problem should be solved and moving relatively the condensing point of the laser beam which made the interior of glass material condense, this invention makes the interior of glass material cause the structural change which brings about refractive-index change, and aims at forming an optical waveguide.

[0006]

[Means for Solving the Problem] The optical waveguide of this invention is characterized by continuing and forming in the interior of glass material the portion from which the refractive index changed with the convergent radiotherapies of a laser beam in order to attain the purpose. Halogenide glass, a sulfide glass, a chalcogenide glass, etc. are used for glass material. There are a silicate system, a borate system, a phosphate system, a \*\*\*\*\* system, a bismuth system, etc. in oxide glass, and it is  $\text{BeF}_2$  in halogenide glass. A system and  $\text{ZrF}_4$  A system and  $\text{InF}_3$  There are a system, a Cd-Zn-Cl system, etc., there is an Ga-La-S system etc. in a sulfide glass, and there is a Se-As system etc. in a chalcogenide glass.

[0007] This optical waveguide condenses a laser beam with the amount of energy which causes an optical induction

refractive-index change inside glass material, makes a condensing point displaced relatively inside glass material, and is manufactured by forming the continuous refractive-index change field in the interior of glass material. It is 105 W/cm<sup>2</sup> [ in / a condensing point / although it changes also with kinds of glass, in order to cause an optical induction refractive-index change as a laser beam ]2. It is desirable to have the above peak power intensity. Peak power intensity is the value which expressed with per irradiation unit area the peaking capacity (W) expressed with the ratio of the output (energy J) / pulse width per one pulse (second). Peak power intensity is 105 W/cm<sup>2</sup>. Unless it fills, an effective optical induction refractive-index change does not take place, and an optical waveguide is not formed. An optical induction refractive-index change is promoted, so that peak power intensity is high, and an optical waveguide is formed easily. However, it is difficult to obtain the laser beam of the too big amount of energy practical. Then, use of the pulse laser which made peaking capacity high is desirable by narrowing pulse width. In order to make into smooth structure the waveguide formed in the interior of glass material, the repetition frequency of a pulse laser is set as 10kHz or more.

[0008] A laser beam is condensed by beam condensing units, such as a lens. At this time, a condensing point is adjusted so that it may be located in the interior of glass material. By making this condensing point displaced relatively inside glass material, the continuous refractive-index change field committed as an optical waveguide is formed in the interior of glass material. A condensing point is made displaced relatively by moving glass material continuously to the condensing point of a laser beam, or specifically, moving the condensing point of a laser beam continuously inside glass material.

[0009]

[Function] The phenomenon in which a refractive index changes with irradiation of a pulse laser is called optical induction refractive-index change, and the example of the silica glass which added P, Ce, germanium, etc. is known. Research with the excimer laser which is considered that this phenomenon originates in a part of oxygen defect changing structurally by the oxygen defect which has peculiar absorption in an ultraviolet region existing in glass, and irradiating the laser beam of absorption wavelength, and has oscillation wavelength in an ultraviolet region is advanced. However, the laser beam used by this method cannot have a less than 10kHz low repetition frequency, and cannot give sufficient energy for an irradiation portion. Therefore, the configuration of a refractive-index change field becomes in spot, and by the time it forms the optical waveguide which needs a continuous refractive-index change, it will not result. Moreover, in the state where an average output is fixed, when a repetition frequency is enlarged compulsorily, the energy per pulse becomes low and it becomes difficult to carry out induction of the refractive-index change itself.

[0010] On the other hand, when high peaking capacity was obtained by narrowing pulse width, also in the pulse laser with a repetition frequency 10kHz or more, the phenomenon in which a refractive index changed at the condensing point of a laser beam was checked regardless of glass composition. Under these conditions, even if it is a pulse laser with wavelength other than the peculiar absorption wavelength of glass, the phenomenon of changing the optical induction refractive index of glass in a condensing point similarly occurs. Moreover, 105 W/cm<sup>2</sup> [ in / a condensing point / even if it is a pulse laser with the wavelength which is in agreement with the peculiar absorption wavelength of glass, absorption is weak, and ]2 Reservation of the above peak power intensity produces an optical induction refractive-index change. The phenomenon in which a refractive index changes is used effective in production of an optical waveguide, although a generating mechanism is unknown. Moreover, since the cycle period is quick, a continuous refractive-index change field can be formed in tracing of a condensing portion by scanning glass material continuously. Since it is higher than the refractive index of the original glass, this refractive-index change field is used as an optical waveguide.

[0011] When making smooth waveguide structure form, if it is narrow and pulse separation are put in another way, a cycle period is made quick and the 1st pulse and the 2nd pulse need to be irradiated as simultaneous as possible. From this, 10kHz of repetition frequencies of a pulse laser is preferably set as 100kHz or more by this invention. If a repetition frequency is small, a laser beam will be irradiated dispersedly and a continuous refractive-index change required for formation of a waveguide will not be obtained. In addition, a laser beam can be continuously irradiated to glass material by making late the scan speed of glass material or the condensing point of a laser beam. However, since it irradiates after it set fixed time and the 2nd pulse has lapped after the 1st pulse irradiation in this case, refractive-index change formed by the 1st pulse causes second change-ization by the 2nd pulse, and sufficient refractive-index change is not obtained. An upper limit is what has an infinite repetition frequency infinite near continuation laser. However, if a repetition frequency is enlarged, generally the energy per one pulse will become weak. Therefore, the upper limit of a repetition frequency is set up by the output of the laser which glass material uses in fact with the threshold which causes refractive-index change.

[0012]

[Example]

Example 1:  $\text{SiO}_2$  : 95 % of the weight,  $\text{GeO}_2$  : From quartz glass with 5% of the weight of composition, the sample 1 of a 10mmx10mmx5mm cube configuration was started. The pulse laser light 2 was condensed with the lens 3, and this sample was irradiated, as shown in drawing 1 (a). As a pulse laser light 2, it is Ti:aluminum  $2\text{O}_3$  of argon laser excitation. The 150femto second of pulse width oscillated from laser, the repetition frequency of 200kHz, the wavelength of 800nm, and the laser of 600mW of average outputs were used. The pulse laser light 2 was condensed with the lens 3, and when it was made to irradiate so that the condensing point 4 may arise inside a sample 1, the refractive index of the condensing point 4 rose 0.02 times. Change of a refractive index was produced in the ultrashort time of a nanosecond or picosecond order. Then, glass or the condensing portion was moved continuously, and as shown in drawing 1 (b), the field 5 where a straight-line-like refractive index is high, i.e., an optical waveguide, was formed in the interior of a sample 1.

[0013] That the optical waveguide is formed actually carried out incidence of the light to the sample, and it checked it by light being transmitted only to the portion which has caused refractive-index change. Moreover, the near-field pattern by the side of outgoing radiation showed [ circular ] that the cross section of an optical waveguide was the diameter of 20 micrometers. Although the example which used the silica glass which carried out germanium dope in the example 1 was explained, in other glass, such as the silica glass of a high grade, a phosphate glass, a borate glass, fluoride glass, chloride glass, and a sulfide glass, the optical waveguide was similarly formed of laser radiation. Since a clear interface does not exist between a core and clad, the obtained optical waveguide has very little interface loss, and the practical use as a detailed waveguide forming method in an optical integrated circuit etc. is expected.

[0014] Example 2:  $\text{ZrF}_4$  : 50-mol %,  $\text{LaF}_3$  : Five-mol %,  $\text{AlF}_3$  : The fluoride glass which has five-mol %,  $\text{BaF}_2$ :20 mol %, and  $\text{NaF}$ :20-mol% of composition, and has a 20mmx20mmx5mm cube configuration was used as a sample 1. a focus 4 is connected to the interior of a sample 1 ( drawing 2 a ) -- the convergent radiotherapy of the 120femto second of pulse width, the repetition frequency of 50kHz, the wavelength of 1 micrometer, and the pulse laser light 2 of 150mW of average outputs was carried out like When the condensing point 4 was moved circularly, a line which is clearly different from the circumference as shown in drawing 2 (b) was checked by observation according [ formation, now that it is ] to an optical microscope inside the sample 1 along with tracing of the condensing point 4. The formed line 5, i.e., an optical waveguide, had a circular cross section with a diameter of 12 micrometers.

[0015] When incidence of the helium-Ne laser beam was carried out from the end side of an optical waveguide 5, the line which checked that outgoing radiation of the laser beam was carried out from the other end side of an optical waveguide 5 by the optical intensity distribution of a near-field pattern, and was formed of laser radiation had the high refractive index as compared with the circumference, and it turns out that it has optical waveguide structure. Moreover, when the convergent radiotherapy of the laser beam was repeatedly carried out to the optical waveguide 5, the optical intensity by which outgoing radiation is carried out also increased from the end face of an optical waveguide 5, and it was checked that refractive-index change also increases by the recurrence of laser radiation. Moreover, pulse width and the repetition frequency were kept constant, fluoride glass was irradiated, changing the wavelength of a laser beam from 400nm to 2 micrometers, and the optical waveguide was formed. It turns out that the same optical waveguide is formed in the interior of glass also in this case from the optical intensity distribution of the near-field pattern of an optical outgoing radiation end face.

[0016]

[Effect of the Invention] As explained above, in this invention, a pulse laser with a high peaking capacity value is irradiated at glass material, such as glass, and the optical waveguide is written in the interior of glass material by changing the refractive index of a condensing point. This method has the advantage which can moreover form an optical waveguide easily, without passing through a complicated process. Moreover, the configuration of an optical waveguide can also be arbitrarily controlled by changing the scanning direction of glass material to the direction of an optical axis of a pulse laser, or the move direction of the condensing point over glass material, and the three-dimensions-optical waveguide suitable for the optical integrated circuit with complicated circuit structure etc. is also produced easily.

---

[Translation done.]